

Имитационное моделирование процесса распространения лесного пожара по неоднородному слою горючего материала

Лепп Н. Э., Ушанов С. В.

Сибирский государственный технологический университет, г. Красноярск;

Случайный характер процесса распространения огня в лесу, обусловленный влиянием множества факторов, отмечался в работах [1-3] и др. Первые попытки моделирования его по методу Монте-Карло были предприняты в работах [4,5]. Однако количественное описание вероятностных характеристик процесса распространения не было получено.

Эффект увеличения средней скорости движения фронта за счет влияния важнейшего фактора-скорости ветра, показан в [6]. Подобный эффект проявляется еще сильнее при учете случайного распределения свойств горючего [3]. Важное практическое значение имеет оценка влияния неоднородности слоя лесных горючих материалов (ЛГМ) на скорость распространения, динамику и интегральные характеристики развития кромки лесного пожара (ЛП) [2,3].

В данной работе рассматривается задача моделирования случайного поля скорости распространения кромки пожара по неоднородному слою ЛГМ на основе модифицированной модели Р. Ротермела [6]. Каждый из наиболее значимых параметров, характеризующих теплофизические свойства слоя ЛГМ (глубина слоя, запас горючего материала, теплотворная способность материала, влагосодержание), формируется как отдельное случайное поле (СП) на плоскости с заданными характеристиками. Численное моделирование поля проводится по авторегрессионной схеме [7].

Алгоритм расчета входных параметров модели:

$$\begin{aligned} z_{00} &= \sigma \cdot \xi_{00} \\ z_{i0} &= \rho_1 x_{i-1,0} + \sigma \sqrt{1 - \rho_1^2} \cdot \xi_{i0}, \quad j \geq 1, \\ z_{0j} &= \rho_2 x_{0,j-1} + \sigma \sqrt{1 - \rho_2^2} \cdot \xi_{0j}, \quad i \geq 1, \\ z_{ij} &= \rho_1 x_{i-1,j} + \rho_2 x_{i,j-1} - \rho_1 \rho_2 + \sigma \sqrt{(1 - \rho_1^2)(1 - \rho_2^2)} \cdot \xi_{ij} \quad i, j \geq 1, \\ x_{ij} &= \begin{cases} z_{i,j}, & x_{ij} \in [x_{min}, x_{max}], \\ x_{min}, & z_{ij} < x_{min}, \\ x_{max}, & z_{ij} > x_{max}. \end{cases} \end{aligned}$$

Здесь ξ_{ij} двумерное СП гауссовских случайных величин с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией, x_{ij} двумерное СП значений входного параметра, x_{min}, x_{max} его минимальное и максимальное значение, σ^2 - заданное значение дисперсии, ρ_1 и ρ_2 - коэффициенты корреляции соседних элементов поля по столбцу и строке соответственно.

Заданные вероятностные характеристики генерируемого поля (математическое ожидание M_{zad} и дисперсия D_{zad}) определяются решением системы [4]:

$$\begin{cases} N_{zad} = M(\mu, \sigma) = \mu - (\lambda_2 - \lambda_1)\sigma, \\ D_{zad} = D(\mu, \sigma) = (1 + \lambda_1\xi_1 - \lambda_2\xi_2 - (\lambda_2 - \lambda_1)^2)\sigma^2. \end{cases}$$

где μ, σ , - искомые параметры нормального распределения; $a_1 < a_2$ точки усе-
чения, $\varphi(x)$ - плотность вероятностей стандартного нормального распределения
 $N(0, 1)$, $\Phi(x)$ - функция Лапласа,

$$\lambda_1 \frac{\varphi(\xi_1)}{\Phi(\xi_2) - \Phi(\xi_1)}, \quad \lambda_2 \frac{\varphi(\xi_2)}{\Phi(\xi_2) - \Phi(\xi_1)},$$

$$\xi_1 = \frac{a_1 - \mu}{\sigma}, \quad \xi_2 = \frac{a_2 - \mu}{\sigma}.$$

Расчеты процесса распространения выполнены в системе MathCad волновым
алгоритмом Ли на шаблоне из 32 точек на квадратной решетке 300×300 .

На рисунке 1 представлены результаты вычислительных экспериментов, соот-
ветствующих моделированию распространения низового лесного пожара при вариа-
ции запаса ЛГМ и глубины слоя горючего для наиболее горимого соснового лишай-
никового леса (запас горючих материалов $\omega = 1,7 \text{ кг/м}^2$, глубина слоя $\delta = 0,12 \text{ м}$,
критическое влагосодержание $M_x = 0,4$) при скорости ветра $5,5 \text{ м/с}$ по направлению
 30° , коэффициенты корреляции $\rho_1 = 0,2, \rho_2 = 0,7$.

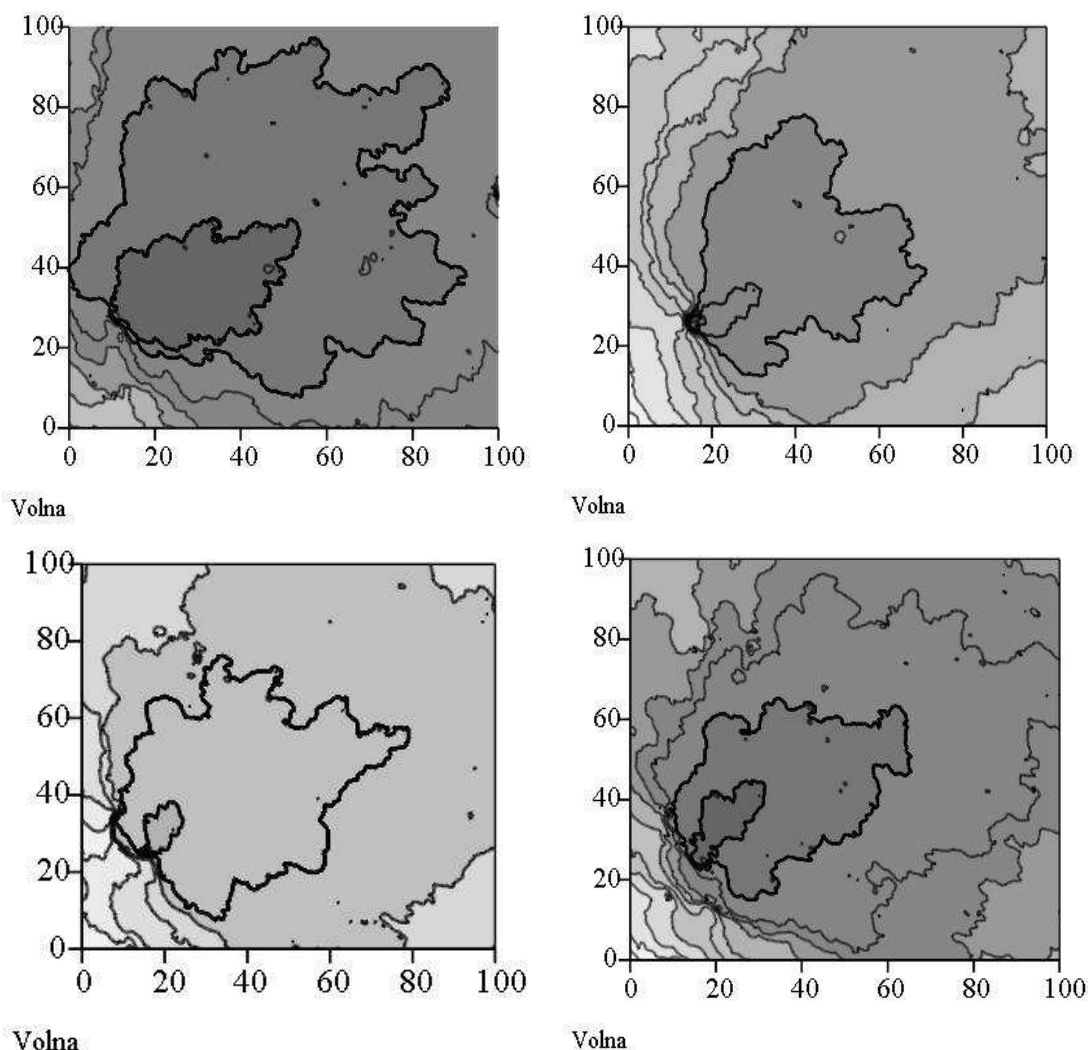


Рис. 1. Реализации процесса распространения ЛП на случайных гауссовских полях
скоростей.

Проведенные вычислительные эксперименты показали, что неоднородность слоя ЛГМ оказывает существенное влияние на параметры распространения и конфигурацию горящей кромки. Основной проблемой при моделировании (вычислении) скорости распространения является определение вероятностных характеристик случайных полей входных параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Доррер Г. А.* Динамика лесных пожаров. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. 404с.
2. *Тарасенко А. А.* Влияние пространственных флуктуаций пирологических параметров среды на интегральные характеристики низового лесного пожара и условия его тушения. Автореф. дис.к.т.н.: Харьков. 2004. 20с.
3. *Лепп Н. Э., Ушанов С. В., Фадеенков О. В.* Влияние характеристик случайного поля скорости распространения на параметры лесного пожара // Сборник материалов молодых ученых: Труды молодых ученых-участников международной конференции "Современные проблемы математики и механики. Томск: Изд-во ТГУ, 2010. С. 108-111.
4. *Доррер Г. А.* Оценка статистических характеристик контуров лесных пожаров // Физика горения и взрыва. 1978, т. 2. С. 71-76.
5. *Kourtz, P. H., O'Regan, W. G.* A model for a small forest fire to simulate burned and burning areas for use in a detection model // Forest Science. - 1971. - Vol. 17, no. 2. P. 163-169.
6. *Гусев В. Г., Корчунова И. Ю.* О методе расчета скорости распространения лесного низового пожара // Лесные пожары и борьба с ними. Сборник научных трудов. Л.: ЛенНИИЛХ, 1986. С. 31 - 50.
7. *Пригарин С. М.* Методы численного моделирования случайных процессов и полей. Новосибирск: Изд-во ИВМиМГ СО РАН, 2005. 259с.
8. *Кобзарь А. И.* Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816с.